

PUBLICATION NUMBER : 10265844  
PUBLICATION DATE : 06-10-98

APPLICATION DATE : 25-03-97  
APPLICATION NUMBER : 09071046

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : YODA NOBORU;

INT.CL. : C21D 8/02 C22C 38/00 C22C 38/28

TITLE : LOW YIELD RATIO STEEL AND ITS PRODUCTION

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low cost steel for construction which is not hardened at receiving repeated plastic deformation, maintains a low YR and has good toughness and its production method.

SOLUTION: A steel, which contains, by weight, 0.07-0.18% C,  $\leq 0.6\%$  Si, 0.3-2% Mn,  $\leq 0.1\%$  sol.Al, 0-0.6% Cu, 0-0.6% Cr, 0-0.1% Nb, 0-0.1% Ti and satisfying 0.01-0.1% Nb+Ti and is hot rolled at a temp. range exceeding the  $Ar_3$  point, is subjected to air cooling down to a two phase temp region of a ferritic phase and an austenitic phase of 780-840°C and controlled cooling from the temp. region at a cooling rate of 5-20°C/sec, cooling is stopped at a temp. region of 200-500°C to be air cooled. Thus, the low yield ratio steel consisting of a ferritic phase/a bainitic phase or a ferritic phase/a bainitic phase/a martensitic phase, having a ferritic grain size of any structure of 5-40  $\mu m$  is obtd.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-265844

(43) 公開日 平成10年(1998)10月6日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F I
C 2 1 D 8/02		C 2 1 D 8/02
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00
38/28		38/28

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-71046

(22) 出願日 平成9年(1997)3月25日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 菅田 登

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住  
友金属工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 森 道雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 低降伏比鋼材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】繰返し塑性変形を受けても硬化せずに低YRを維持し、かつ良好な靱性を備える安価な建築用鋼材およびその製造方法の提供。

【解決手段】重量%で、C: 0.07~0.18%、Si: 0.6%以下、Mn: 0.3~2%、sol. Al: 0.1%以下、Cu: 0~0.6%、Cr: 0~0.6%、Nb: 0~0.1%、Ti: 0~0.1%を含み、Nb+Tiが0.01~0.1%である鋼をAr<sub>3</sub>点を超える温度域で熱間圧延し、二相域780~840℃まで放冷し、同温度域から冷却速度5~20℃/秒で制御冷却し、200~500℃の温度域で冷却を停止し放冷して、フェライト相とベイナイト相、またはフェライト相とベイナイト相とマルテンサイト相からなり、いずれの組織のフェライト粒径も5~40μmとする低降伏比鋼材の製造方法および低降伏比鋼材。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】重量パーセントで、C：0.07～0.18%、Si：0.6%以下、Mn：0.3～2%、sol. Al：0.1%以下、Cu：0～0.6%、Cr：0～0.6%、Nb：0～0.1%およびTi：0～0.1%を含み、かつNb+Tiが0.01～0.1%である鋼の熱間圧延を $A_{r3}$ 点を超える温度で終了し、フェライト相とオーステナイト相の二相温度域780～840℃まで放冷し、同温度域から冷却速度5～20℃/秒で200～500℃の温度域まで制御冷却し、その後放冷することを特徴とする、フェライト相およびベイナイト相、またはフェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相からなり、そのフェライト粒の平均粒径がいずれの組織の場合も5～40 $\mu$ mである低降伏比鋼材の製造方法。

【請求項2】重量パーセントで、C：0.07～0.18%、Si：0.6%以下、Mn：0.3～2%、sol. Al：0.1%以下、Cu：0～0.6%、Cr：0～0.6%、Nb：0～0.1%およびTi：0～0.1%を含み、かつNb+Tiが0.01～0.1%である鋼であって、その組織はフェライト相およびベイナイト相、またはフェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相からなり、いずれの組織の場合もフェライト粒の平均粒径が5～40 $\mu$ mであることを特徴とする低降伏比鋼材。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、各種の建造物、とくに耐震性構造物への使用に好適な、地震時に良好な塑性変形能を示す、靱性もあわせ持つ低降伏比鋼材およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、超高層ビル等、建築構造物の大型化の進展に伴い使用される構造用鋼材は高強度化および厚肉化が、強く要求される傾向にある。一方、建造物の耐震性向上に関する調査の結果、降伏比（YR：降伏強さ（YS）を引張強さ（TS）で除した値）の低い鋼材を構造部材として使用することが有効であることが判ってきた。

【0003】高強度鋼材としては、調質高張力鋼材、水冷型TMCP鋼板等が知られているが、これら高強度鋼材は高いTSを有するものの、軟鋼や焼きならし高張力鋼に比べるとYRが80%以上と高いために塑性変形能に劣り、したがって耐震性に劣っていた。

【0004】ところで、1994年1月の米国ノースリッジ地震、および1995年1月の兵庫県南部地震での被災建造物を詳細に調査すると、その鋼材には破壊に先立ち繰返しひずみが負荷されていることが判明した。すなわち、建造物の耐震性に必要な低YRは繰返し予ひずみ後にいて満たされていなければならない。つまり、鋼材が繰

返し軟化するか、または繰返し硬化するかを評価する必要がある。繰返し軟化する材料であれば繰返しひずみによってYSが低下しYRも減少する結果、塑性変形能が低くなることはない。一方、繰返し硬化する鋼材が用いられれば、たとえ建造直後の初期状態で鋼材が低YRであっても繰返しひずみ履歴を受けることにより鋼材のYSは徐々に上昇する。そのため、建造物がいくつかの地震を経験した後、または最初の地震でもその数回の繰返しひずみ後において、危険な大きなひずみの地震波が入力された時には、鋼材のYRは既に上昇した状態になっており、設計時に期待された塑性変形能は得られない。

【0005】鋼材の低YR化に関する従来の技術には下記のものが知られている。

【0006】①一度、再加熱焼入れし、さらに、フェライト相とオーステナイト相の二相共存温度域に再加熱し空冷する方法の提案（特昭59-52207号公報）。この方法によれば、YRは確実に低くなるが、再加熱コストが高くなるという問題点がある。

【0007】②再加熱コストを省略するために、 $A_{r3}$ 点まで強圧下し圧延後初析フェライト相を生成させ、フェライト相とオーステナイト相の二相共存状態まで空冷し、その後水冷しオーステナイト相を硬化させる方法の開示（特開昭59-211528号公報）。しかしながら、この方法は、フェライト相、パーライト相およびベイナイト相の混合組織を得ることを目的としており、この組織では靱性を備えたうえで繰返し塑性変形後の低YRを確保することができない。また、溶接性を備えたうえで高強度化をはかるうえでも大きな制約となる。

【0008】③この問題を解決するために、熱間圧延に際し、再結晶域で50%以上の圧延後、 $A_{r3}$ 点以上から5～15℃/秒の速度で水冷する方法の開示がなされた（特開平1-176027号公報）。しかし、この方法には、YRが75%程度しか低くならず、かつ最大板厚50mm程度に留まる限界があった。

【0009】上記の3方法の問題点を解決すべく下記の方法の提案がなされた。

【0010】④1120～1150℃加熱後、再結晶域で50%以上の圧延を行い、 $A_{r3}$ 点以上から5～15℃/秒の速度で400～650℃まで制御冷却する方法（特開平5-214440号公報）。しかしながら、この方法では低YR化が不十分である。

【0011】⑤圧延終了後、二相域から焼入れし焼戻しを施す方法（特開昭63-286517号公報）。この方法は、製造コストが上昇する問題がある。

【0012】⑥体積率1～30%の残留オーステナイトを含み、セメントライトがベイナイト相のフェライトラ空間に層状に分布する組織にする方法（特開平7-109544号公報）。この組織は靱性が著しく低くなる問題がある。

【0013】上記の従来技術をまとめると、靱性を備え、安価で、かつ繰返しひずみ後にも低YRを保つ建築用鋼材の製造方法の提供はこれまでなかったといえる。とくに、繰返しひずみ後の性能（以後、「繰返し軟化硬化特性」という）について検討した例はみられない。

#### 【0014】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、繰返し塑性変形を受けても硬化せずに低YRを維持し、かつ良好な靱性をあわせ持つ安価な低降伏比鋼材およびその製造方法を提供することを目的とする。具体的にはつぎの性能を全て満たすことを目的とする。

#### 【0015】

1.  $YS \geq 300 \text{ MPa}$ 、 $TS \geq 450 \text{ MPa}$
2. 初期YR  $\leq 0.80$ 、繰返し軟化硬化特性 ( $\sigma_{100}/\sigma_1$ )  $\leq 1.02$
3. シャルピー衝撃試験における破面遷移温度  $vTs \leq -40^\circ\text{C}$

繰返し軟化硬化特性の記号 ( $\sigma_{100}/\sigma_1$ ) の意味は、実施例において説明する。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】本発明者は、靱性を確保しつつ、初期のYRを低く押さえると同時に、繰返しひずみに対しYSが上昇しない、すなわち繰返し軟化特性が良好になる製造条件、とくに圧延後の冷却条件の検討を行った結果、つぎの事項を確認することができた。

【0017】(a) 熱間圧延後、フェライト相とオーステナイト相の二相温度域から一定範囲の冷却速度で一定温度まで冷却するとフェライト相およびベイナイト相、またはフェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相からなる混合組織が得られ、低YR鋼材が得られる。

【0018】(b) 繰返し軟化硬化特性と靱性の両方を確保するには、フェライト粒径を適切な範囲にする必要がある。そのために、NbとTiの両者の一方または両方を一定以上含ませる。

【0019】(c) 繰返し軟化硬化特性、初期YR、および靱性の三者を同時に満足させる化学組成、圧延条件、冷却開始温度、冷却速度、冷却停止温度等の製造条件の範囲が存在する。

【0020】本発明は上記の事項をもとに現場試作を経て完成されたもので、その要旨は下記の低降伏比鋼材およびその製造方法にある。

【0021】(1) 重量パーセントで、C: 0.07~0.18%、Si: 0.6%以下、Mn: 0.3~2%、sol. Al: 0.1%以下、Cu: 0~0.6%、Cr: 0~0.6%、Nb: 0~0.1%およびTi: 0~0.1%を含み、かつNb+Tiが0.01~0.1%である鋼の熱間圧延を $A_{r3}$ 点を超える温度で終了し、フェライト相とオーステナイト相の二相温度域78

0~840℃まで放冷し、同温度域から冷却速度5~20℃/秒で200~500℃の温度域まで制御冷却し、その後放冷する、フェライト相およびベイナイト相、またはフェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相からなり、いずれの組織の場合もフェライト粒の平均粒径が5~40μmである低降伏比鋼材の製造方法（〔発明1〕とする）。

【0022】(2) 重量パーセントで、C: 0.07~0.18%、Si: 0.6%以下、Mn: 0.3~2%、sol. Al: 0.1%以下、Cu: 0~0.6%、Cr: 0~0.6%、Nb: 0~0.1%およびTi: 0~0.1%を含み、かつNb+Tiが0.01~0.1%である鋼であって、その組織はフェライト相およびベイナイト相、またはフェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相からなり、そのフェライト粒の平均粒径がいずれの組織の場合も5~40μmである低降伏比鋼材（〔発明2〕とする）。

【0023】上記において、「鋼材」は厚鋼板、熱延鋼板、棒鋼、鍛鋼品等が該当する。

【0024】「フェライト相とオーステナイト相の二相温度域780~840℃」は、二相温度域のうちの780~840℃の温度域をさす。

【0025】「ベイナイト相」は上部ベイナイト相と下部ベイナイト相の両方を含む。フェライト相とベイナイト相の2相組織の場合のベイナイト相は上部ベイナイト相が主体であり、フェライト相、ベイナイト相およびマルテンサイト相におけるベイナイト相は下部ベイナイト相と上部ベイナイト相が混合したものか、または下部ベイナイト相が主体である。

【0026】温度はとくにことわらない限り、鋼材の中心部と表面の中間点、たとえば厚鋼板の場合は、板幅方向の温度変化は無視して、板厚1/4位置での温度をさす。また、冷却速度も同様に中間点、すなわち厚鋼板の場合は板厚1/4位置での冷却速度とする。

【0027】つぎに、上記の発明を完成させる基となった研究の内容について詳細に説明する。

【0028】供試鋼としては、C: 0.09%、Si: 0.45%、Mn: 1.0%、Nb: 0.015%、Ti: 0.035%、sol. Al: 0.025%を含む鋼 ( $A_{r3}$  点802℃) を用いた。この鋼を1100℃に加熱後、再結晶温度域（ほぼ950℃以上）で70%の圧下率を付与し、仕上げ温度880℃にて板厚25mmに圧延し、740~880℃の温度域まで空冷し、同温度域から冷却速度3~25℃/秒で冷却し、100~600℃の温度域で冷却を停止し、放冷後、性能を調査した。

【0029】表1~表3は、それぞれ繰返し軟化特性、初期YR、および靱性の評価結果を示す。

#### 【0030】

【表1】

表 1

		冷却停止温度 (℃)										
		600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100
冷却開始温度 (℃)	880	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○
	860	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	○	○
	840	△	○	○	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎
	780	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	◎
	760	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	740	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

繰返し軟化硬化特性：◎： $\sigma_{100}/\sigma_1$  0.90未満 ○：0.90以上0.98未満  
 △：0.98以上1.02未満 ×：1.02以上

【0031】

【表2】

表 2

		冷却停止温度 (℃)										
		600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100
冷却開始温度 (℃)	880	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	860	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	840	×	×	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	780	×	×	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	760	×	×	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	740	×	×	△	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎

初期YR：◎：0.70未満 ○：0.70以上0.75未満  
 △：0.75以上0.80未満 ×：0.80以上

【0032】

【表3】

表 3

		冷却停止温度 (℃)										
		600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100
冷却開始温度 (℃)	880	○	○	△	△	△	△	△	△	△	×	×
	860	○	○	○	△	△	△	△	△	△	×	×
	840	○	○	○	○	○	△	△	△	△	×	×
	780	○	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×
	760	○	○	○	○	○	○	△	△	△	×	×
	740	◎	◎	○	○	○	○	△	△	△	×	×

引張試験破面遷移温度：◎：-100℃未満 ○：-100℃以上-70℃未満  
 △：-70℃以上-40℃未満 ×：-40℃以上

【0033】表1～表3より、返し軟化特性、初期YR、および靱性の三者を同時に満足させるためには、冷却開始温度は780～840℃、また冷却停止温度下限

は200℃～500℃とすることが適切であることが分かる。

【0034】冷却開始温度下限は、表1に示した繰返し

軟化特性の確保のために780℃が適切である。冷却開始温度上限は、表2に示す初期YR値の確保のために840℃が適切であるといえる。また、表3に示すように、韌性確保の観点から冷却停止温度下限は200℃とすべきである。冷却停止温度上限については初期YRの確保のために500℃とした。

#### 【0035】

【発明の実施の形態】つぎに本発明を上記のように限定した理由について説明する。以後の説明において合金元素についての「%」は「重量%」をあらわす。

#### 【0036】1. 化学組成

C: 0.07~0.18%

ベイナイト相の十分な比率を確保するためにCの下限は0.07%とする。Cがこれを下回ると、フェライト比率が高すぎ必要なTSを得ることができない。一方、Cが0.18%を超えると溶接割れが生じやすくなり、溶接施工が困難となり、構造用鋼としての使用範囲が著しく限定されるので上限は0.18%とする。強度と耐溶接割れ性の両者ともに良好な範囲とするには、0.08~0.16%とすることが望ましい。

#### 【0037】Si: 0.6%以下

Siは脱酸のために添加するが鋼中に留まらなくてもよい。しかし、脱酸を確実にし、より脱酸力の強いAlのロスを防止し、かつ強度を上昇させるためには0.05%以上含むことが望ましい。一方、Siが0.6%を超えると破壊韌性の劣化が著しく生じるのでSiの上限は0.6%とする。強度と韌性をともに良好にするには0.15~0.5%とすることが望ましい。

#### 【0038】Mn: 0.3~2%

Mnは、構造用鋼としての強度を保証する上で必要である。Mnが0.3%未満では強度が不足するので0.3%を下限とする。一方、Mnが2%を超えると嚴重な溶接割れ防止対策が必要となり、構造用鋼としての使用が著しく限定されるので2%以下とする。強度と耐溶接割れ性の両者のより良好な均衡を図るためには0.5~1.8%とすることが望ましい。

#### 【0039】sol. Al: 0.1%以下

Alは脱酸のために添加するが、鋼中に留まらなくてもよい。しかし、鋼中に留まった微量のsol. Alは組織を微細化し韌性を向上させる作用があるので、sol. Al、すなわち酸化物以外の形態で鋼中に留まるAlは0.05%以上とすることが望ましい。一方、0.1%を超えると破壊韌性が低下し、かつ鋼の清浄度が劣化し伸び絞り等の延性も低下するので鋼中に留まるsol. Alの上限は0.1%とする。韌性上からは0.01~0.05%とすることがより望ましい。

【0040】これまで説明した合金元素は必ず含まなければならない。つぎに説明するNbとTiは両方ともに含まれる必要はないが、少なくとも一方は必ず含まなければならない。

#### 【0041】Nb: 0~0.1%

NbはTiが含まれている場合は無添加でもよい。Nbはオーステナイト粒径を微細化し韌性を向上し、強度上昇にも有効であるので、高強度鋼とする場合は含ませる。0.01%未満ではこれらの効果は小さいので含有させる場合には0.005%以上とすることが望ましい。一方、0.1%を超えると韌性劣化が著しいので上限は0.1%とする。より良好な韌性確保のためには0.01~0.05%とすることが望ましい。

#### 【0042】Ti: 0~0.1%

Tiは、Nbを含む場合には無添加でもよい。Tiは後記する熱間圧延前のスラブ加熱時のオーステナイト粒の粗大化抑制し韌性向上に有効である。また溶接熱影響部の韌性を確保するためにも有効である。これらの効果を積極的に得る場合にはTiを含ませる。0.005%未満のときには上記効果は小さいので含有させる場合には0.005%以上とすることが望ましい。一方、0.1%を超えると韌性が著しく低下するので、上限は0.1%とする。さらに良好な韌性を得るためには0.01~0.05%とすることが望ましい。

#### 【0043】Nb+Ti: 0.01~0.1%

Nb+Tiが0.01%未満のときには、後記する圧延仕上げ温度をAr<sub>3</sub>点を超える温度とすると二相温度域740~840℃まで放冷したときフェライト平均粒径が40μmを超え、韌性が劣化する。一方、0.1%を超えるとフェライト粒径が微細となりすぎ繰り返し軟化硬化特性が劣化するので0.1%以下とする。韌性および繰り返し軟化硬化特性をともに良好にするには0.035%超、0.075%以下とすることが望ましい。

【0044】つぎに説明する合金元素のCuおよびCrはともに無添加でもよい任意元素である。

#### 【0045】Cu: 0~0.6%

Cuは添加しなくてよい。しかし、Cuは韌性を大きく劣化させずに強度を向上できるので、溶接性の観点からCを下げて強度を確保する場合には含ませる。0.6%を超えると、連続製造スラブの表面性状が劣化するので、含ませる場合には0.6%以下とする。強度上昇と表面性状を両立させるためには0.15~0.4%とすることが望ましい。

#### 【0046】Cr: 0~0.6%

Crは添加しなくてよい。しかし、Crは焼入性を高めるので肉厚が厚い鋼材を製造する場合には含ませる。0.6%を超えると焼入性が過大となり溶接性が劣化するので、含ませる場合には0.6%以下とする。溶接性および強度と韌性の両方をともに高める場合には0.15~0.4%とすることが望ましい。

#### 【0047】2. 熱間圧延および冷却方法

熱間圧延終了温度がAr<sub>3</sub>以下になると、フェライト粒が加工され硬化されるので低YRとすることができず、またフェライト粒径が微細になり良好な繰り返し軟化硬

化特性を得ることができない。フェライト粒径が微細になり過ぎないようにするためには、熱間圧延終了温度は( $Ar_3$ 点+15℃)以上とすることが望ましい。

【0048】“熱間圧延終了後フェライト相およびオーステナイト相の2相温度域780～840℃まで放冷し、同温度域から冷却を開始する”のは、冷却においてオーステナイト相からベイナイト相またはベイナイト相とマルテンサイト相を生成させてフェライト相とベイナイト相の二相組織、またはフェライト相、ベイナイト相、マルテンサイト相の三相組織にするためである。熱間圧延後に放冷するのは、上記の化学組成の範囲の鋼にフェライト相を生成させ、かつ温度の監視が容易に行えるからである。

【0049】冷却開始温度が780℃未満のときは、ベイナイト相が硬くなりすぎ繰返しひずみを受けたときフェライト相にのみひずみが集中し、加工硬化が促進され繰返し軟化硬化特性が悪くなり、後記する $\sigma_{100}/\sigma_1$ が1.0を超えてしまう。すなわち、数回のゆれの後の危険波の際に塑性変形能が不足する場合がある。一方、840℃を超えると初析フェライト相の成長が十分でなく初期YRが目標値以下にならない。そこで、冷却開始温度は780～840℃とする。

【0050】冷却速度が、5℃/秒未満では実質的に冷却の効果がなく、一方、20℃/秒を超えるとベイナイト相が抑制されマルテンサイト相が主体となり、繰返し軟化硬化特性が悪くなるので、冷却速度は5～20℃/秒とする。

【0051】冷却停止温度が200℃未満のときは韌性に有害な島状マルテンサイトが生成し、一方、500℃を超えると生成するベイナイト相の硬さが低くなりTSが低下し、かつフェライト相との硬度差が小さくなり低YRとならないので、冷却停止温度は200～500℃とする。

### 【0052】3. 組織

本発明では上記の化学組成および製造方法を適用することにより組織をフェライト相およびベイナイト相の二相組織、またはフェライト相、ベイナイト相、およびマルテンサイト相の三相組織とする。これは、強度の高いベイナイト相またはベイナイト相とマルテンサイト相に強度が相対的に低いフェライト相を連結するよう配置し、低YRを実現させるためである。

【0053】上記の二相または三相組織のいずれにおいてもフェライト粒の平均粒径が40μmを超えると韌性が低下し、一方、5μm未満では繰返し軟化硬化特性が劣化するので、フェライト粒の平均粒径は5～40μmとする。フェライト粒の平均粒径は光学顕微鏡観察により、倍率100倍程度の5～10視野において測定し簡単に求めることができる。

### 【0054】

【実施例】つぎに実施例により本発明の効果を説明する。

【0055】表4は、供試鋼の化学組成を示す。

【0056】

【表4】

表 4

鋼材 番号	化 学 成 分 (wt% : bal. Fe)										$Ar_3$ (℃)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Nb	Ti	Nb+Ti	sol. Al	
1	0.09	0.45	1.00	0.013	0.002	---	0.015	0.035	0.040	0.025	
2	0.15	0.34	0.89	0.004	0.001	---	0.016	0.035	0.041	0.034	
3	0.10	0.23	1.20	0.001	0.002	0.31	0.023	0.018	0.041	0.018	
4	0.089	0.46	1.50	0.001	0.002	0.31	0.014	0.033	0.047	0.027	
*5	0.12	0.45	1.10	0.005	0.001	---	---	---	---	0.004	

注 \* を付した鋼材番号は本発明の範囲外であることを示す。

【0057】これらの鋼を転炉で溶製し、連続鋳造により240mm厚スラブとした後、1190℃に加熱し、熱間圧延し最終板厚30mm、50mmおよび60mmの厚鋼板に880℃に仕上げた。この仕上げ温度は、表4の鋼番号のいずれの $Ar_3$ 点よりも高い。熱間圧延における950℃以上の温度域における累積圧下率は、板

厚30mmの場合は67%、板厚50mmと板厚60mmは60%とした。

【0058】表5は熱間圧延後の冷却条件および組織を示す。

【0059】

【表5】



表 5

区 分	試 験 番 号	鋼 材 番 号	板 厚 (mm)	冷却 開始 温度 (℃)	冷却 速度 (℃/秒)	冷却 停止 温度 (℃)	組織	フェライト 平均 粒径 ( $\mu$ m)	YS (MPa)	TS (MPa)	初期 YR	繰り返し 軟化硬化 特性	遷移 温度 (℃)
本 発 明 例	1	1	30	800	15	300	F+B	16	440	587	0.75	0.98	-70
	2	1	50	790	20	300	F+B	10	432	561	0.77	0.99	-90
	3	1	60	820	15	350	F+B	5	466	598	0.78	0.97	-100
	4	1	30	840	10	200	F+B	18	464	610	0.76	0.89	-60
	5	1	30	780	15	400	F+B+M	7	405	513	0.76	1.00	-85
	6	1	30	820	15	300	F+B	23	480	615	0.78	0.99	-60
	7	2	30	810	15	250	F+B	30	412	588	0.70	0.98	-55
	8	3	30	830	5	500	F+B	12	456	592	0.77	0.90	-80
	9	4	30	790	15	250	F+B+M	31	445	601	0.74	0.95	-65
比 較 例	10	1	30	*850	10	400	F+B	32	463	572	#0.81	0.92	-50
	11	1	30	*770	15	300	F+B+M	35	410	569	0.72	#1.03	-55
	12	1	30	810	*3	250	F+B	45	442	605	0.73	0.94	#-35
	13	1	30	800	*25	450	F+P	15	450	542	#0.83	0.98	-75
	14	2	30	810	15	*510	F+P	14	428	522	#0.82	1.01	-85
	15	2	30	800	15	*190	F+B+M	60	419	590	0.71	0.89	#-30
	16	*5	30	830	15	350	F+B	55	457	601	0.76	1.00	#-35

マーク \* を付した鋼材番号、条件、組織は本発明の範囲外であることを示す。

マーク # を付した数値は、目標に達しなかった性能を示す。

組織の符号：F フェライト、B ペイライト、M マルテンサイト、P パーライト

【0060】性能の調査は、下記により行った。

【0061】初期YRは引張試験（JIS Z2241：試験片 JIS Z 2201 4号試験片）により、YS、TSから求めた。試験片採取位置は板厚の1/4位置とし、方向は圧延長手方向に一致させた。

【0062】繰り返し軟化硬化特性は、丸棒試験片（平行部直径6mm、ゲージ長15mm）にひずみ制御下でひずみ範囲 $\Delta\epsilon = 2\%$ の完全両振り三角形波形を100波負荷し、つぎに述べる方法で評価した。1波目の引張りひずみ1%（最大ひずみ）での応力 $\sigma_1$ と100波めの引張りひずみ1%（最大ひずみ）での応力 $\sigma_{100}$ との比、 $\sigma_{100}/\sigma_1$ により繰り返し軟化硬化特性の指標とした。

【0063】靱性は、シャルピー衝撃試験（JIS Z 2242：試験片 JIS Z 2202 4号試験片）により評価した。

【0064】これらの試験結果を表5に示す。

【0065】比較例である試験番号10は冷却開始温度が高すぎたために初期YRが高くなり、試験番号11は、逆に冷却開始温度が低すぎて、初期YRは低いものの繰り返し軟化硬化特性が高くなった。試験番号12は

冷却速度が本発明の範囲より小さいために靱性が劣化し、逆に、試験番号13は冷却速度が本発明の範囲より大となり初期YRが高すぎる結果となった。試験番号14は冷却停止温度が本発明の範囲より高いために初期YRが目標範囲に入らず、また試験番号15は冷却停止温度が低すぎて靱性が劣化した。試験番号16は鋼材番号5を用いた試験であるが、TiもNbも含まないために組織が粗くなり靱性が低下する結果となった。

【0066】これらに対して、本発明例である試験番号1～9は、鋼の組成、冷却条件のいずれも本発明の範囲内にあるので、初期YR、繰り返し軟化硬化特性、靱性の全てが目標性能に達した。

【0067】

【発明の効果】 本発明によれば、鋼の組成と冷却条件を制御することにより、初期YRを低く保ち、繰り返し負荷を受けても硬化しない、高靱性の鋼材を安価に提供できる。本発明方法で製造された鋼材を各種の建造物に使用すれば、地震の際にも、塑性変形能不足で破断することなく優れた耐久性を示すので、今後の耐震性建造物用鋼材として重要な役割を担うこととなる。

